Agriculture and Agri-Food Canada | Agriculture et Agroalimentaire Canada
Research Branch | Direction générale de la recherche

CRDH Horticulture
Saint-Jean-sur-Richelieu

CLUBROOT OF CRUCIFERS

Control strategies

Nicolas Tremblay, Ph.D, Agr., Carl Bélec, B.Sc., Hélène Laurence, B.Sc. and Odile Carisse, Ph.D. plant pathologist.

Prepared in collaboration with the Association des Jardiniers Maraîchers du Québec (AJMQ) under the Agri-Food R&D Matching Investment Initiative administered by the Research Branch.

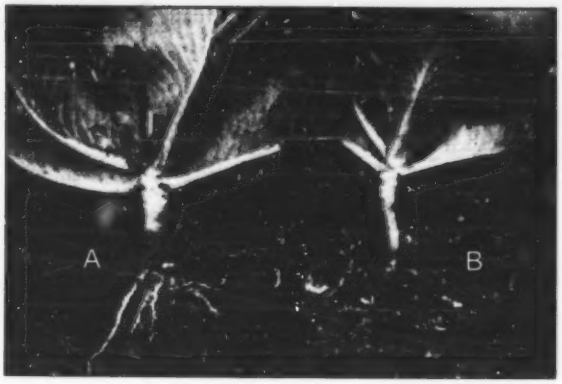

Photo 1 : Hernie des crucifères; racines de chou saines (A) et infectées (B)

Clubroot is a serious fungal disease of cruciferous crops that occurs worldwide. It was first identified in Europe in the 13th century. Clubroot is a major problem in Quebec and Ontario, where extensive crucifer acreages have been attacked by the disease.

Clubroot[1] occurs mainly on broccoli, Brussels sprouts, cabbage, cauliflower, Chinese cabbage, kale, kohlrabi, radish, rutabaga and turnip. The disease can also infect black mustard, canola and rape. Clubroot-resistant crucifers include winter cress and garden cress.

Major research efforts have been devoted to controlling the disease. This technical factsheet describes current knowledge of the disease and the options available to Canadian farmers who have to grapple with clubroot problems.

THE DISEASE

The causal pathogen of clubroot is a myxomycete fungus called *Plasmodiophora brassicae* (Wor.), of which there are several soil-dwelling races. Yellowish, senescent leaves, and wilting and stunted growth are the main symptoms that can be seen on the above-ground parts of infected plants. These symptoms are most noticeable on hot days. On young plants, the foliage may wilt during the day but recover at night. **The disease can progress considerably in the roots before above-ground symptoms become visible.**

In the soil, the roots develop tiny, club-like swellings that enlarge rapidly (Photo 1). As the disease progresses, secondary organisms invade the whitish-coloured swollen roots, which begin to turn black. The resulting decay may lead to the plant's death. When this occurs, resting spores are released into the soil, creating an inoculum source. The spores may persist for more than 18 years in the absence of a host.

The life cycle of *P. brassicae* includes two generations of zoospores (Figure 1). The zoospores develop rapidly through their short cycle.

In the spring, resting spores of the fungus germinate, producing zoospores which swim in free water in the soil. These zoospores infect susceptible plants through tiny root hairs or through wounds. The fungus continues its development in the host organism, and a second generation of zoospores is eventually released. Plants infected by only the first generation of zoospores will not develop clubroot. The second generation of zoospores requires more soil moisture to be effective. Infection of plants by second-generation zoospores induces cell enlargement and cell division, causing the characteristic root swellings.

Daily temperatures between 19.5 and 23.5°C, high soil moisture and acidic soil are all factors that favour infection and disease development. Soils with a pH of over 7.2 tend to inhibit spore germination, although the disease can still develop.

There are several ways for the disease to disperse. A field without clubroot problems should be kept free of the disease by all means. Special care should be also taken to keep the field free of weeds of the crucifer family (mustards) which can act as reservoirs for the pathogen. Other non-cruciferous weeds can also be infected by the pathogen (bentgrass, orchardgrass, patience, poppy, ryegrass, sorrel and velvetgrass). The effect of these non-cruciferous weeds on the evolution of the infectious potential of the soil is not well known.

PROBLEMS ASSOCIATED WITH CLUBROOT

Wilting and yield losses

The severely deformed roots of affected crucifers are unable to absorb water and minerals. With an optimal supply of water, the plant will be able to obtain nutrients and grow; however, its vegetative growth will be diminished. If the water supply is insufficient, growth will cease. Yield losses occur in all of these situations.

Longer rotations

In fields with a history of clubroot infection, it is strongly recommended that growers use the longest possible rotation. More specifically, fields should be free from cruciferous crops for about seven years, with this rotation applying also to weeds and all other crops that might be susceptible.

Sanitation

Special care should be taken in cleaning agricultural equipments that may have come in contact with clubroot. Following use in infested fields, tools must be cleaned to prevent dissemination of the disease.

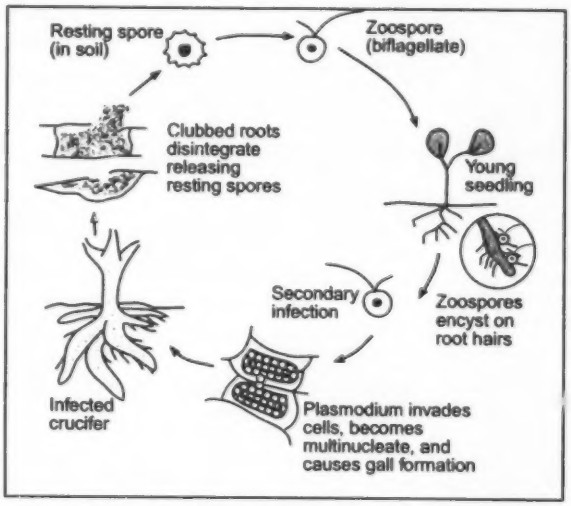

Figure 1: Life cycle of *Plasmodiophora brassicae*, the pathogenic fungus that causes clubroot (Source: Ohio State University).

[1] In this text, the term "clubroot" is used to denote "clubroot of crucifers."

Canada

Aesthetic considerations for the fresh market

Unsightly swellings are an impediment to the marketing of root crucifers such as kohlrabi, turnip, radish and rutabaga.

FIELD MONITORING

The easiest way to detect clubroot in fields is to check the plants for symptoms during the season. Growers should be careful not to mistake herbicide damage or the hybridization nodules (swellings) that occur on canola, turnip and rutabaga for clubroot symptoms. Hybridization nodules are of genetic origin and completely unrelated to clubroot. Unlike what is observed in clubroot-affected plants, when hybridization nodules are cut, a uniformly unmarbled texture is noted. Furthermore, these nodules are not susceptible to decay, contrary to clubroot swellings.

Research is under way on an additional monitoring method, which involves estimating a field's infection potential based on soil sampled in fall before the crucifer harvest. A sensitive crop (Chinese cabbage usually) is subsequently grown in the greenhouse using the soil collected. After six weeks of growth, the severity of symptoms observed on the roots is converted to a pathological index.

PREVENTION

Various precautions can be taken to prevent fields from becoming infested by clubroot. As the old saying goes, *"An ounce of prevention is worth a pound of cure."*

Well-drained soil

The presence of excess water in fields for prolonged periods is highly conducive to disease development. Well-drained soil with a good structure is an essential part of prevention.

Healthy transplants

Growers should always use plants that have been grown in clubroot-free soil or growing medium.

Movement of contaminated material

It is crucial to avoid moving infested soil, equipment or plants to clean fields. When agricultural tools have been used in fields that may be infected or that have recently been used for crucifer production, they must be cleaned thoroughly prior to use in disease-free fields.

Irrigation water

Growers should avoid using irrigation water that is contaminated with the clubroot fungus. Irrigation ponds may be contaminated if they receive run-off from infested fields. In addition, wash water from contaminated vegetables should not be employed.

Use of manure

Manure from livestock fed clubroot-infested crop debris should not be used.

SOLUTIONS

In contaminated fields, steps must be taken to avert large yield losses. At present there is no known method for eradicating clubroot. Nevertheless, the control measures described below will help to minimize the impact of the disease.

A) Principal methods

Containment

In fields that have become infested, it is important to restrict the infection and prevent dissemination of the disease by applying the preventive measures mentioned above.

Crop rotation

Rotating crops is strongly recommended for clubroot-infested fields. No susceptible plants (cruciferous crops and weeds) should be grown in an infected field for five to seven years. Other crops may be cultivated instead.

Liming

Liming has been used as a control measure for clubroot since the early 19th century. There is a close relationship between soil pH and clubroot, with acidic soils generally favouring development of the disease.

While this approach does not eradicate the causal pathogen of clubroot, it creates conditions unfavourable for its development. To harness the appreciable benefits of liming, the soil pH (extracted with water) must be progressively increased and kept above 7.2.

The scientific jury is still out on whether liming aids in disease control by raising the pH or by increasing the calcium concentration. However, a study conducted at the HRDC, in collaboration with the Association des Jardiniers Maraîchers du Québec (AJMQ), showed that there is little association between the calcium level in the soil and the presence of clubroot. The research confirms nonetheless that a close relationship exists between the soil pH and the disease. Figure 2, which is taken from that study, illustrates the relationship between the spatial variation of pH values in a field and the pathological index for clubroot.

As a control method for clubroot, liming must be done so as to raise soil pH to a suitable level quickly. Relatively massive applications may be envisaged—if necessary using faster acting types of lime than agricultural lime. Since soil has a natural tendency to become acidic, applications must be made every year, preferably in the fall, to maintain ideal pH conditions. For fall applications, calcitic lime [$CaCO_3$] is recommended. If the soil magnesium level is low, dolomitic lime [$CaCO_3 + MgCO_3$] provides better results. Lime efficiency can be increased by using a finer grind and by making sure that the product is perfectly homogenized in the top soil layer. (Dobson et al., 1983). Harrowing is therefore strongly recommended as a step prior to tillage.

If liming is necessary in the spring, hydrated lime [$Ca(OH)_2$] may be applied a month before the crop is planted. Quicklime may be incorporated as a last resort (at least a week before planting); however, extra precautions are necessary because this lime is very reactive (Please follow provincial recommendations). The Portland cement kiln dust can also be used to raise soil pH.

It is difficult to provide a general recommendation on the amount of lime to apply, given that responses differ with soil type and there are wide variations in soil pH within a single field (Figure 2). A given dose of lime may be sufficient or even harmful in an area with a high pH, whereas the same dose may be insufficient in a low pH zone. Ideally, a pH map should be produced using precision agriculture technology, and the lime dosage should be adjusted across the field based on that information. When a pH map is not available, a global positioning system (GPS) may be used to locate clubroot-affected zones and orient applications of lime.

Massive or repeated applications of lime reduce the availability of phosphorous and other micro-nutrients, such as magnesium, manganese, boron and zinc, and may also reduce yield. Indeed, in the aforementioned experiment, a 7% decrease in cabbage yields

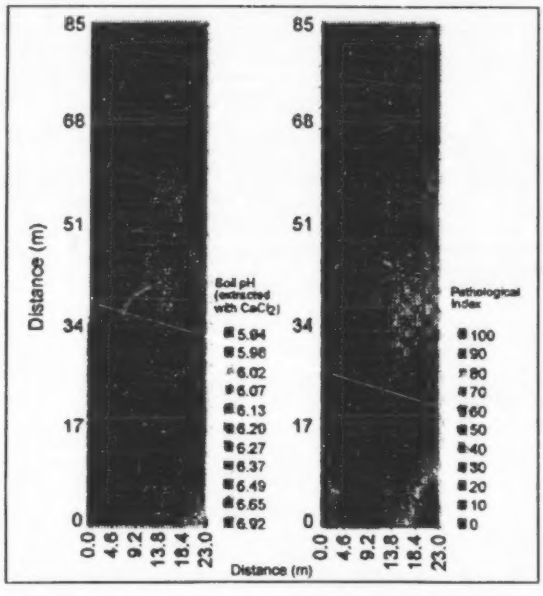

Figure 2: Map of pH zones (A) and pathological index of clubroot (B) in a given field. Zones with acidic pH values are infected by clubroot.

was measured after lime was applied on a clayey loam at a rate of 37 tonnes of lime ($CaCO_3$ equivalent) per hectare, over a three-year period. The pH level (measured in $CaCl_2$) rose from an average of 5.41 to 6.14 during this period. Hence it is important to ensure that the yield increases resulting from improved clubroot control outweigh the risk inherent in massive applications of lime.

Several studies suggest a certain effect of boron on clubroot development (Dixon, 1996). Boron application to soil to reach a level of 2 ppm may contribute to clubroot control. Since lime application can reduce boron availability and crucifers require relatively high boron levels, it is a good idea to complement fertilization of a cruciferous crop with this nutrient.

Fungicides
Quintozene (Terraclor) in 75% wettable powder form is the only product currently registered in Canada for control of clubroot of crucifers. When applied during transplanting in accordance with the manufacturer's directions, this fungicide may reduce disease incidence and severity. For detailed recommendations, please consult your provincial government agronomists.

B) Other methods

Several other approaches may be used to control clubroot. However, contradictory results have been reported in some cases and research is still under way. Most of the alternative approaches are described below:

Promote overall crop health
Except in the case of root vegetables, good production practices underpinned by suitable irrigation and fertilizer use can mitigate the impact of the disease on marketable yields.

Fumigation
Soil fumigation can be incorporated into a control program for clubroot. This treatment is recommended especially when there is some doubt regarding the hygiene of the soil used for transplant production in the greenhouse. To minimize the cost in commercial fields, localized fumigant applications can be made. The currently available fumigants which are least damaging for the ozone layer are metham sodium, metham potassium and methyl isothiocyanate. Please consult your provincial government agronomists for more details and be sure to read the manufacturer's directions prior to use.

Resistant cultivars
One of the ways to control clubroot is to use resistant cultivars. Unfortunately, few resistant cultivars exist. In addition to being resistant to only certain strains of the pathogen, the resistant cultivars do not meet market standards in every regard. For a list of such cultivars, contact your provincial agriculture department and your seed supplier.

Green manure
According to certain sources, ploughing under green manure, especially rye, inhibits the development of clubroot. Unfortunately, trials conducted by the Quebec Department of Agriculture, Fisheries and Food (MAPAQ) and others conducted by the HRDC, in collaboration with the AJMQ, failed to substantiate this claim. Nevertheless, green manure application is recommended from an agronomic standpoint.

Surfactants
Trials involving the use of a specific surfactant were carried out by the Atlantic Food and Horticultural Research Centre and the HRDC in collaboration with the AJMQ. When applied during transplanting and followed by a second application two weeks later, the surfactant was found to be somewhat effective. The product in question **is not registered for that use in Canada**.

Nitrogen source
Calcium nitrate [$Ca(NO_3)_2$] is a good choice as a nitrogen source because of its alkalinizing properties (Dobson et al., 1983). This type of fertilizer is relatively expensive, however, and leaches easily from the soil. Another N source, calcium cyanamide (20% N), characterized by both herbicidal and fungicidal properties, has shown good potential for clubroot control (Klasse, 1996) provided that the application be made 1 week before planting, the product be well homogenized in the top soil layer, and irrigation be provided (if no sufficient rainfall occurs) to activate the product. Application rates are based on N requirements of the crop. Producers should consult their provincial government agronomists for detailed recommendations in this regard.

Bait crops
Growing plants that are sensitive to clubroot (e.g., canola and mustard) for four to five weeks at the start of the season will induce the resting spores of the fungus to produce zoospores. The zoospores will swim in free water in the soil and eventually penetrate the tiny roots of those plants. If the bait crop is harvested or ploughed under at that point, the first-generation zoospores will not have time to complete their cycle, so the disease will not develop on the primary crop that is planted afterwards. According to Harling and Kennedy (1991), the bait crop method produces good results if the infection is not too severe and if liming is also carried out. However, this approach is restricted to late plantings.

IN SUMMARY

To lessen the effect of clubroot on crucifer yields, growers should:

- Rotate crops;
- Apply lime and incorporate it well to raise the soil pH and maintain it at or above 7.2;
- Prevent the disease from being spread by water, soil and equipment;
- Ensure good soil drainage and prevent the formation of water-saturated zones in fields;
- Use healthy transplants; fumigate the growing medium (or soil) in the event of any doubts regarding its disease-free status;
- Incorporate a solution of quintozene in the transplanting water for fields at risk;
- Promote overall crop health through suitable irrigation and fertilizing;
- Use resistant cultivars if available;
- Eliminate weeds that are likely to act as a disease reservoir.

Web site suggestions:
http://www.ag.ohio-state.edu/~ohioline/hyg-fact/3000/3118.html
http://ppathw3.cals.cornell.edu/DiagLab/CLUBROOT.HTM
http://pmo.umext.maine.edu./factsht/clubroot.htm
http://www.ipm.ucdavis.edu/PMG/r108100111.html

REFERENCES

Dixon, G.R. 1996. Repression of the morphogenesis of Plasmodiophora Brassicae Wor. by boron - A review. Acta Hort. 407: 393-401.

Dobson, R. L., R. L. Gabrielson, et al. 1983. Effects of Lime Particle Size and Distribution and Fertilizer Formulation on Clubroot Disease caused by *Plasmodiophora brassicae*. Plant Disease 67(1): 50-52.

Harling, R. and S. H. Kennedy. 1991. Biological control of *Plasmodiophora brassicae* using a bait crop. Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent. 56(2a): 159-170.

Klasse, H.J. 1996. Calcium Cyanamide - An effective tool to control clubroot - A review. Acta Hort. 407: 403-409.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Ms. Danielle Roy, Agr., Mr. Paul Hildebrand and Mr. Jean Coulombe, Agr., for helping to prepare this fact sheet and Ohio State University for permission to use their disease cycle diagram.

MAIL ORDERS

This fact sheet can be obtained free of charge from the following address:

Publications
Horticultural R and D Centre
430 boul. Gouin
Saint-Jean-sur-Richelieu, Quebec
CANADA J3B 3E6

Agriculture et Agroalimentaire Canada
Agriculture and Agri-Food Canada
Direction générale de la recherche
Research Branch

CRDH Horticulture
Saint-Jean-sur-Richelieu

LA HERNIE DES CRUCIFÈRES

Stratégies de lutte

Nicolas Tremblay, Ph.D, Agr., Carl Bélec, B.Sc., Hélène Laurence, B.Sc. et Odile Carisse, Ph.D. phytopathologiste.

En collaboration avec l'Association des Jardiniers Maraîchers du Québec (AJMQ) dans le cadre du Programme de partage des frais d'investissement en R&D de la Direction générale de la recherche.

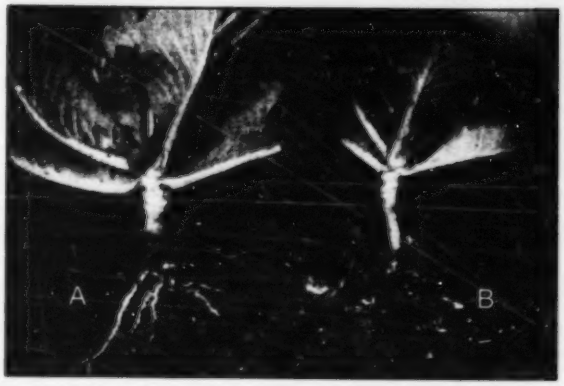

Photo 1 : Hernie des crucifères; racines de chou saines (A) et infectées (B)

La hernie des crucifères est une maladie fongique qui sévit partout dans le monde. Elle a été identifiée pour la première fois en Europe au XIII[e] siècle et constitue aujourd'hui la maladie la plus importante des crucifères. Le Québec et l'Ontario sont particulièrement touchés par cette maladie en raison de l'importance des cultures auxquelles elle s'attaque.

La hernie[1] affecte surtout le brocoli, le chou chinois, le chou de Bruxelles, le chou-fleur, le chou frisé, le chou-rave, le chou vert, le navet, le radis et le rutabaga. La maladie peut également attaquer le canola, le colza et la moutarde noire. La barbarée vulgaire, le cresson d'hiver, le cresson de jardin et le raifort sont des crucifères résistantes à la hernie.

D'importants efforts de recherche ont été déployés pour réprimer la maladie. Ce feuillet technique présente l'état actuel des connaissances quant aux stratégies de luttes offertes aux producteurs de crucifères canadiens qui doivent faire face à la hernie.

LA MALADIE

L'agent pathogène responsable de la hernie des crucifères est le champignon myxomycète *Plasmodiophora brassicae* (Wor.) qui vit dans le sol et qui existe en plusieurs races. Un feuillage sénescent, aux teintes jaune à vert pâle, un flétrissement et un rabougrissement de la plante sont les principaux symptômes observés sur la partie aérienne des plants infectés. Ces symptômes se manifestent surtout lors de journées chaudes. Sur les jeunes plants atteints, le feuillage peut flétrir mais il se rétablit généralement durant la nuit. **Avant l'apparition des symptômes aériens, la maladie peut déjà avoir progressé considérablement dans les racines.**

Dans le sol, les racines présentent de petits renflements qui prennent rapidement de l'expansion (Photo 1). À mesure que la maladie progresse, les racines hypertrophiées de couleur blanche sont envahies par des organismes secondaires. Les renflements deviennent noirs, de la pourriture se développe pouvant éventuellement causer la mort de la plante. C'est alors qu'une libération d'inoculum se produit dans le sol sous forme de " spores de repos ". Ces spores de repos peuvent survivre pendant plus de 18 ans dans le sol en attendant un hôte à infecter.

Le cycle vital de *P. brassicae* inclut deux générations de zoospores (Figure 1). L'évolution des zoospores est rapide et leur cycle de développement très court.

Au printemps, en présence de racines sensibles à l'infection, les spores de repos germent et produisent des zoospores qui nagent dans l'eau libre du sol. L'agent pathogène pénètre facilement par les poils absorbants et parfois via les blessures racinaires. Le champignon se développe dans l'organisme hôte et une deuxième génération de zoospores est relâchée. **Si les plants sont infectés seulement par la première génération de zoospores, la maladie ne se développe pas**. La deuxième génération de zoospores requiert une plus grande humidité dans le sol pour être effective.

L'infection des plants par les zoospores de la seconde génération provoque une accentuation de la division cellulaire et l'élargissement des cellules, ce qui donne lieu aux renflements observés sur les racines.

Des températures diurnes entre 19,5 et 23,5°C, une humidité du sol élevée ainsi qu'un sol acide sont des conditions qui favorisent l'infection et le développement de la maladie. Les sols au pH au-dessus de 7,2 tendent à inhiber la germination des spores mais la maladie peut quand même se développer.

Les modes de dispersion de la maladie sont nombreux. Il faut donc être vigilant pour ne pas contaminer un champ exempt de hernie. Une attention particulière doit également être portée à certaines mauvaises herbes appartenant à la famille des crucifères (moutardes) qui peuvent servir de réservoir à l'agent pathogène. De plus, d'autres mauvaises herbes peuvent aussi être attaquées par la hernie (agrostide, dactyle pelotonné, houlque laineuse, ivraie vivace, oseille, patience et pavot). L'impact que pourraient avoir ces mauvaises herbes, qui ne sont pas des crucifères, sur l'évolution du potentiel infectieux du sol est mal connu.

LES PROBLÈMES CAUSÉS PAR LA HERNIE

Tendance au flétrissement et perte de rendement

Les racines fortement déformées sont incapables d'absorber l'eau et les éléments nutritifs. Si l'apport en eau est idéal, le plant infecté parvient quand même à s'alimenter et à croître mais au prix d'un développement végétatif réduit. Lorsque la quantité d'eau est insuffisante, la croissance s'arrête. Des pertes de rendement sont encourues dans un cas comme dans l'autre.

Rotation plus longue

Lorsque le champignon pathogène est présent dans un champ, il est fortement suggéré de pratiquer des rotations les plus longues possibles soit environ 7 ans sans crucifères, incluant les mauvaises herbes et toutes autres cultures susceptibles d'être affectées par la maladie.

Plus de nettoyage

La présence de hernie dans un champ exige de consacrer des soins particuliers au nettoyage de l'équipement agricole. Les outils doivent être nettoyés après être passés dans un champ infesté afin de limiter la dispersion de la maladie.

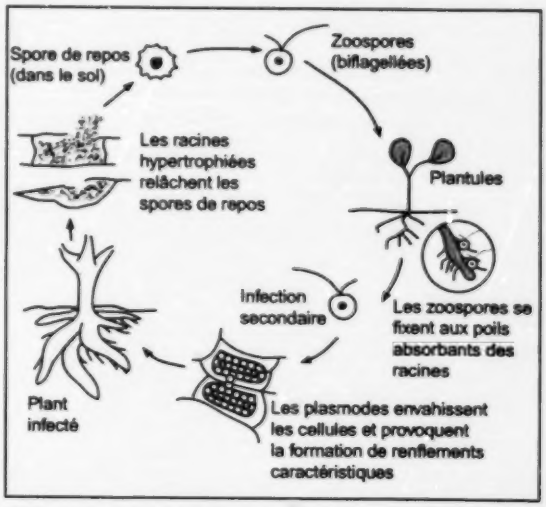

Figure 1 : Cycle vital de *Plasmodiophora brassicae*, champignon pathogène responsable de la hernie des crucifères (Source : The Ohio State University).

[1] Dans le texte, <<hernie>> abrège l'appellation officielle <<hernie des crucifères>>.

Canada

Aspect esthétique pour le marché frais

Les renflements disgracieux nuisent à la commercialisation des crucifères " racines " tels le chou-rave, le navet, le radis et le rutabaga.

LE DÉPISTAGE

La méthode la plus simple pour détecter la présence de hernie dans un champ consiste à observer les symptômes de la maladie directement sur les plants en cours de saison. Il faut toutefois faire attention de ne pas confondre la hernie avec des dommages causés par des herbicides ou avec des nodules d'hybridation visibles sur le système racinaire des cultures de canola, de navet et de rutabaga . Les nodules d'hybridation seraient d'origine génétique et n'ont rien à voir avec la présence de hernie. Contrairement aux conséquences de la hernie, les nodules d'hybridation présentent une texture uniforme et non marbrée lorsqu'on les coupe; ils ne pourrissent pas comme le font les renflements causés par la hernie.

Une seconde méthode de dépistage préventif fait l'objet de recherche. Elle consiste à estimer le potentiel infectieux d'un champ face à la hernie au moyen d'un échantillonnage du sol l'automne précédant la culture de crucifères. Une culture sensible (généralement le chou chinois) est cultivée en serre dans le sol prélevé. Après six semaines de croissance, l'importance des symptômes sur les racines est traduit en un " indice pathologique ".

LA PRÉVENTION

Si les champs ne sont pas déjà infectés par la hernie, différentes précautions peuvent être prises. *"Mieux vaut prévenir que guérir ".*

Sol bien drainé
La présence d'excès d'eau dans les champs pendant une période prolongée favorise grandement la maladie. Un sol bien drainé et pourvu d'une bonne structure s'avère essentiel au processus de prévention.

Transplants sains
Avant de mettre les plants en terre, il faut s'assurer qu'ils ont été produits dans un sol ou un terreau exempt de hernie.

Attention au transport de matériaux contaminés
Le transport de sol, d'équipements ou de végétaux provenant de champs infectés doit être évité. L'utilisation des équipements à l'intérieur de champs potentiellement infectés ou ayant été récemment utilisés pour la production de crucifères, exigent qu'ils soient bien nettoyés.

Eau d'irrigation
L'eau d'irrigation que vous utilisez ne doit pas être contaminée par le champignon de la hernie. Sournoisement, les eaux de ruissellement recueillies dans les bassins d'irrigation peuvent avoir été contaminées. Évitez également les eaux de lavage de légumes contaminés.

Attention à l'origine des fumiers
Le fumier appliqué aux champs ne doit pas provenir de troupeaux nourris aux déchets de légumes infectés par la hernie.

LES SOLUTIONS

Lorsque les champs sont contaminés, il est nécessaire d'agir pour éviter des pertes de rendement considérables. Il n'existe pour l'instant aucune méthode qui enraye totalement la hernie. Les méthodes de contrôle qui suivent contribuent toutefois à atténuer les effets de la maladie.

a) Méthodes principales

Confinement
Si la hernie est présente dans un champ, il faut limiter son étendue et prévenir sa dispersion à l'aide des moyens énoncés à la section précédente sur la prévention.

Rotation
La rotation des cultures est fortement suggérée en présence de hernie. Dans la mesure du possible, aucune plante susceptible (cultures de crucifères et mauvaises herbes) ne doit occuper un champ infecté pour une période allant de cinq à sept ans. D'autres cultures peuvent être pratiquées entre-temps.

Chaulage
L'application de chaux est une méthode utilisée pour combattre la hernie depuis le début du XIX^{e} siècle. Il existe en effet une relation étroite entre le pH du sol et la hernie. En règle générale, un sol acide favorise le développement de la maladie.

L'application de chaux n'élimine pas le champignon responsable de la hernie mais elle crée des conditions défavorables à son développement. Afin de bénéficier des effets significatifs du chaulage, le pH du sol, extrait à l'eau, doit être progressivement augmenté et maintenu au-delà de 7,2.

Les chercheurs ne s'entendent pas quant à savoir si la répression de la hernie est causée par l'augmentation du pH ou par l'augmentation du calcium dans le sol résultant de l'application de chaux. Toutefois, selon une étude réalisée au Centre de R&D en horticulture (CRDH) d'Agriculture et Agroalimentaire Canada en collaboration avec l'Association des Jardiniers Maraîchers du Québec (AJMQ), il existe peu de relation entre la teneur en calcium du sol et la présence de hernie. Par contre, l'étude confirme la relation étroite entre le pH et la hernie. La Figure 2 tirée de cette étude présente la relation entre la variation spatiale du pH dans un champ et l'indice pathologique associé à la hernie.

Dans une perspective de contrôle de la hernie, l'application de chaux doit viser à porter rapidement le pH du sol à un niveau adéquat. Dans ce contexte, des applications relativement massives de chaux peuvent être envisagées, au besoin avec des types de chaux à réaction plus rapide que la chaux agricole. Puisque le sol a tendance à s'acidifier naturellement, les applications subséquentes doivent être réalisées chaque année, idéalement à l'automne, afin de maintenir les conditions de pH idéales. Pour les applications automnales, la chaux calcique [$CaCO_3$] est recommandée. Si le sol est pauvre en magnésium, l'utilisation de chaux dolomitique [$CaCO_3 + MgCO_3$] donne de meilleurs résultats. Il est possible d'augmenter l'efficacité du chaulage en utilisant une mouture plus fine et en s'assurant de **bien homogénéiser** la chaux dans la couche arable (Dobson et al., 1983). Ainsi, il est fortement recommandé de herser le sol avant de procéder au labour.

Si un chaulage au printemps est nécessaire, de la chaux hydratée peut être appliquée [$Ca(OH)_2$] un mois avant la mise en place de la culture. L'incorporation de chaux vive peut être envisagée en dernier recours (au moins une semaine avant la plantation) mais des précautions supplémentaires doivent être prises en raison de l'intensité de sa réaction (Respecter les normes provinciales en vigueur). Il existe également des produits de dépoussiérage des fours à ciment Portland qui peuvent être utilisés pour augmenter le pH du sol.

Quant à la quantité de chaux à appliquer, une recommandation générale est difficile à formuler en raison de la variation du pH dans les champs (Figure 2). De plus, le type de sol de même que son pouvoir tampon influenceront grandement l'effet de la chaux sur le pH du sol. Une application de chaux peut s'avérer suffisante voire même néfaste dans une zone à pH élevé mais insuffisante dans une zone à pH faible.

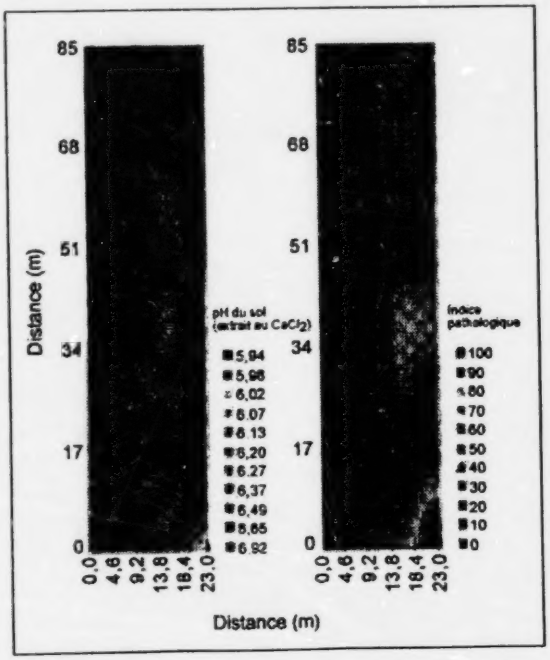

Figure 2 : Cartographie du pH (A) et de l'indice pathologique de la hernie (B) dans le même champ. Les zones de pH acides correspondent à la présence de hernie.

L'idéal est de réaliser une cartographie du pH à l'aide des technologies de " l'agriculture de précision " et de procéder à des applications de chaux à taux variables. À défaut d'une carte de pH, une localisation des zones affectées par la hernie à l'aide d'un système de positionnement global (SPG ou " *GPS* ") peut orienter les applications de chaux.

L'application massive ou répétée de chaux réduit la disponibilité du phosphore et d'autres éléments mineurs, entre autres le magnésium, le manganèse, le bore et le zinc et peut réduire le rendement. En effet, dans le cadre de l'expérience précitée, une baisse des rendements de choux de 7 % a été mesurée suite à l'application de 37 tonnes de chaux (équivalent $CaCO_3$) par hectare faite sur un loam argileux, fractionnée sur une période de 3 ans. Le pH extrait au $CaCl_2$ était alors passé d'une valeur moyenne de 5,41 à 6,14. Il faut donc s'assurer que les gains de rendements résultant d'un meilleur contrôle de la hernie viendront plus que compenser les risques inhérents à l'application massive de chaux.

Dans le même ordre d'idées, plusieurs études démontrent l'effet répressif du bore sur le développement de la hernie (Dixon, 1996). L'application de bore au sol pour atteindre un seuil de 2 ppm pourrait constituer un atout important dans le cadre d'un programme de lutte contre la maladie. Comme l'application de chaux est susceptible d'en diminuer la disponibilité et que les crucifères sont des cultures particulièrement exigeantes en bore, il est de toute façon prudent de prévoir un apport supplémentaire en bore dans le contexte du chaulage contre la hernie.

Fongicides
Pour combattre spécifiquement la hernie des crucifères, le quintozène (Terraclor) en poudre mouillable 75% est le seul produit présentement homologué au Canada. Appliqué lors de la transplantation et conformément aux directives du fabricant, ce produit peut réduire l'incidence et la sévérité de la maladie. Prière de consulter les agronomes de votre province pour les recommandations précises.

B) Autres méthodes

Plusieurs autres approches peuvent être mises à profit pour lutter contre la hernie. Ces approches ont parfois livré des résultats contradictoires et sont parfois encore l'objet de recherches. La plupart de ces alternatives sont présentées dans la liste qui suit:

Favoriser la santé générale de la culture
À l'exception des légumes racines, une bonne régie de production, soutenue par une irrigation et une fertilisation adéquates, est susceptible d'atténuer les effets de la maladie sur les rendements commercialisables.

Fumigation
La fumigation du sol peut faire partie d'un programme de lutte contre la hernie. Ce traitement est particulièrement recommandé en cas de doutes sur l'état sanitaire du sol utilisé pour la production de transplants en pépinière. Pour réduire les coûts dans les champs commerciaux, une application localisée de fumigants est envisageable. Les fumigants présentement disponibles, et les moins dommageables pour la couche d'ozone, sont le métham-sodium, le métham-potassium et l'isothiocyanate méthylique. Prière de consulter les agronomes de votre province pour les recommandations précises et de lire les directives du fabricant avant l'utilisation.

Cultivars résistants
Une des façons de lutter contre la hernie serait l'utilisation de cultivars résistants. Malheureusement, ces cultivars sont rares et, en plus de n'être résistants qu'à certaines races du pathogène, ils ne répondent pas complètement aux normes du marché. Informez-vous auprès de votre ministère provincial de l'agriculture et de votre grainetier pour en connaître la liste.

Engrais verts
Selon certaines sources, l'enfouissement d'engrais verts, dont le seigle en particulier, inhiberait le développement de la hernie. Malheureusement, des essais conduits en ce sens au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) ainsi que par le CRDH en collaboration avec l'AJMQ n'ont pas permis de confirmer ces informations. Toutefois, l'utilisation d'engrais verts demeure une pratique recommandable au plan agronomique.

Les surfactants
L'utilisation d'un surfactant particulier a également fait l'objet d'expérimentations conduites par le CRDH en collaboration avec le Centre de recherches de l'Atlantique sur les aliments et l'horticulture et l'AJMQ. L'application du surfactant lors de la transplantation suivi d'une seconde application deux semaines plus tard a démontré une certaine efficacité. Le produit en question n'est toutefois **pas homologué pour cet usage au Canada**.

Source d'azote
L'usage de nitrate de calcium [$Ca(NO_3)_2$] comme source d'azote est souhaitable étant donné ses propriétés alcalinisantes (Dobson et al., 1983). Cet engrais est par contre relativement cher et facilement lessivable. Une autre source d'azote aux propriétés herbicides et fongicides, le cyanamide de calcium (20% N), a montré un bon potentiel pour la répression de la maladie (Klasse, 1996) à condition que l'application soit faite une semaine avant la plantation, que l'engrais soit très bien homogénéisé dans le sol et qu'une irrigation soit prévue (s'il n'y a pas de précipitation) pour activer le produit. Le taux d'application recommandé correspondrait aux besoins en azote de la culture. Prière de consulter les agronomes de votre province pour les recommandations précises.

Cultures appâts
La culture d'une plante sensible à la hernie comme le canola ou la moutarde pendant quatre à cinq semaines en début de saison incitera les spores de repos du champignon à produire des zoospores qui nageront dans l'eau libre du sol pour aller pénétrer les poils absorbants des plantes. Si la culture appât est récoltée ou enfouie à ce moment, la première génération de zoospores n'a pas le temps de compléter son cycle et la maladie ne se développera pas sur la culture principale qui suivra. Selon Harling et Kennedy (1991), cette méthode donne de bons résultats si l'infection n'est pas trop sévère et si elle est combinée à l'application de chaux. Cette pratique ne se prête toutefois qu'aux plantations tardives.

EN RÉSUMÉ

Pour atténuer les effets de la hernie sur les rendements, il est nécessaire de :

- Pratiquer la rotation des cultures;
- Appliquer et incorporer soigneusement la chaux pour augmenter et maintenir le pH_{eau} du sol à un seuil de 7,2;
- Prévenir la dispersion en limitant les déplacements de la maladie avec l'eau, le sol et l'équipement;
- Assurer un bon drainage du sol et éviter la présence de zones saturées en eau dans le champs;
- Utiliser des transplants sains; ne pas hésiter à fumiger le terreau ou le sol au préalable s'il y a des doutes sur leur état sanitaire;
- Selon les recommandations du ministère de votre province, intégrer une solution de quintozène dans l'eau de transplantation dans un champ à risques;
- Favoriser la santé de la culture par une irrigation et une fertilisation adéquates;
- Utiliser des cultivars résistants s'ils sont disponibles;
- Éliminer les mauvaises herbes susceptibles d'incuber la maladie.

Quelques suggestions d'ade sites internet :
http://www.ag.ohio-state.edu/~ohioline/hyg-fact/3000/3118.html
http://ppathw3.cals.cornell.edu/DiagLab/CLUBROOT.HTM
http://pmo.umext.maine.edu./factsht/clubroot.htm
http://www.ipm.ucdavis.edu/PMG/r108100111.html

Références

Dixon, G.R. 1996. Repression of the morphogenesis of Plasmodiophora Brassicae Wor. by boron - A review. Acta Hort. 407: 393-401.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Mme Danielle Roy, agr., M. Paul Hildebrand et M. Jean Coulombe, agr., pour leur aide lors de la rédaction de ce bulletin ainsi que l'Université de l'Ohio pour nous avoir accordé la permission d'utiliser leur cycle vital.

COMMANDE POSTALE

Ce feuillet technique est disponible gratuitement à l'adresse suivante :
Demande de publications
Centre de R&D en horticulture
430, boul. Gouin
Saint-Jean-sur-Richelieu, Qc
CANADA J3B 3E6

Dobson, R. L., R. L. Gabrielson, et al. 1983. Effects of Lime Particle Size and Distribution and Fertilizer Formulation on Clubroot Disease caused by *Plasmodiophora brassicae*. Plant Disease 67(1): 50-52.

Harling, R. and S. H. Kennedy. 1991. Biological control of *Plasmodiophora brassicae* using a bait crop. Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent. 56(2a) : 159-170.

Klasse, H.J. 1996. Calcium Cyanamide - An effective tool to control clubroot - A review. Acta Hort. 407: 403-409.